

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

$$A = \{ [\tau f \times (CD/R)] / (Hf - Hc) \} \times 1000$$

PUBLICATION NUMBER : 08053714  
PUBLICATION DATE : 27-02-96

I

APPLICATION DATE : 09-08-94  
APPLICATION NUMBER : 06187508

C : 0.3 ~ 0.4 %未満においては、 $1.9 \leq A \leq 16.6$

APPLICANT : KOBE STEEL LTD;

II

INVENTOR : KAWASAKI TOSHIO;

INT.CL. : C21D 9/28 C21D 9/00 C22C 38/00  
C22C 38/06 C22C 38/44 C22C 38/50  
C22C 38/60

C : 0.4 ~ 0.5 %未満においては、 $1.8 \leq A \leq 14.3$

III

TITLE : SHAFT PARTS FOR MACHINE  
STRUCTURAL USE EXCELLENT IN  
TORSIONAL FATIGUE STRENGTH

C : 0.5 ~ 0.6 %未満においては、 $1.7 \leq A \leq 13.6$

IV

ABSTRACT : PURPOSE: To produce shaft parts for machine structural use excellent in torsional fatigue strength by subjecting shaft parts for machine structural use having a specified compsn. to forming, thereafter executing induction hardening and satisfying specified conditions.

CONSTITUTION: Shaft parts for machine structural use with a prescribed shape constituted of a steel stock contg., by mass, 0.30 to 0.60% C, 0.05 to 1.0% Si, 0.3 to 2.0% Mn, 0.015 to 0.05% Al, 0 to 0.03% S, 0 to 0.015% P, and the balance Fe with inevitable impurities is subjected to forming. Next, this shaft parts are subjected to induction hardening of  $\leq 100$  KHz frequency, and the ratio (CD/R) of the depth of the hardened layer CD to 50% martensitic hardness to the radius R of the induction-hardened shaft parts is regulated to 0.3 to 0.7. Furthermore, the value of A prescribed by the formula I is allowed to satisfy every of the inequalities II to TV. Thus, the shaft parts for machine structural use exceedingly improved in torsional fatigue properties can be obtd.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-53714

(43)公開日 平成8年(1996)2月27日

| (51)Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号    | 庁内整理番号  | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|---------|---------|-----|--------|
| C 2 1 D 9/28             | A       |         |     |        |
| 9/00                     | H       | 9352-4K |     |        |
| C 2 2 C 38/00            | 3 0 1 A |         |     |        |
| 38/06                    |         |         |     |        |
| 38/44                    |         |         |     |        |

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平6-187508

(22)出願日 平成6年(1994)8月9日

(71)出願人 000001199

株式会社神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区臨浜町1丁目3番18号

(72)発明者 諏訪 敏樹

兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会

社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 長谷川 豊文

兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会

社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 川崎 稔夫

兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会

社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(74)代理人 弁理士 植木 久一

(54)【発明の名称】 ねじり疲労強度に優れた機械構造用軸物部品

(57)【要約】

【目的】 ねじり疲労強度限界を更に向上し、近年のニーズに応えることのできる機械構造用軸物部品を提供する。

【構成】 化学成分組成を調整した鋼を素材とし、該素材を所定の形状に成形加工した後、周波数が100kHz\*

$$A = \{ [\gamma f \times (CD/R)] / (Hf - Hc) \} \times 1000 \dots (1)$$

但し、 $\gamma f$  : 高周波焼入れ後の表面から1mmまでのオーステナイト結晶粒径 (半径:  $\mu m$ ) の平均

$Hf$  : 高周波焼入れまの  $(CD/R) = 1.0$  までの

\* z 以下の高周波焼入れによって50%マルテンサイト硬さまでの硬化層深さCDと高周波焼入れ軸物部品の半径Rとの比  $(CD/R)$  が0.3~0.7となる様にしたものであり、且つ下記(1)式によって規定されるAの値が特定の範囲内にある。

平均ビッカース硬さ (HV)

$Hc$  : 高周波焼入れ後の軸中心部の平均ビッカース硬さ (HV)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 C: 0.30~0.60% (質量%の意味、以下同じ), Si: 0.05~1.0%, Mn: 0.3~2.0%, Al: 0.015~0.05%, S: 0.03%以下 (0%を含む), P: 0.015%以下 (0%を含む) を夫々含有し、残部Feおよび不可避不純物からなる鋼を素材とした機械構造用軸物部品において、該素材を所定の形状に成形加工した後、周波数\*

$$A = \{ [\gamma f \times (CD/R)] / (Hf - Hc) \} \times 1000 \dots (1)$$

但し、 $\gamma f$ : 高周波焼入れ後の表面から1mmまでのオーステナイト結晶粒径 (半径:  $\mu m$ ) の平均

Hf: 高周波焼入れままの  $(CD/R) = 0.1$  までの※

$$C: 0.3 \sim 0.4\% \text{ 未満においては、} 1.9 \leq A \leq 16.6 \dots (2)$$

$$C: 0.4 \sim 0.5\% \text{ 未満においては、} 1.8 \leq A \leq 14.3 \dots (3)$$

$$C: 0.5 \sim 0.6\% \text{ 未満においては、} 1.7 \leq A \leq 13.6 \dots (4)$$

【請求項2】 更に、Ni: 2.0%以下, Cu: 0.03~0.3%, Cr: 2.0%以下およびMo: 2.0%以下よりなる群から選ばれる1種以上を含有するものである請求項1に記載の機械構造用軸物部品。

【請求項3】 更に、V: 1.0%以下, Ti: 0.10%以下およびNb: 0.10%以下よりなる群から選ばれる1種以上を含有するものである請求項1または2に記載の機械構造用軸物部品。

【請求項4】 更に、Ca: 0.01%以下, Pb: 0.30%以下およびTe: 0.10%以下よりなる群から選ばれる1種以上を含有するものである請求項1~3のいずれかに記載の機械構造用軸物部品。

【請求項5】 更に、B: 0.010%以下を含有したものである請求項1~4のいずれかに記載の機械構造用軸物部品。

【請求項6】 更に、N: 0.030%以下を含有したものである請求項1~5のいずれかに記載の機械構造用軸物部品。

【請求項7】 酸素の含有量を0.0030%以下に抑制したものである請求項1~6のいずれかに記載の機械構造用軸物部品。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば自動車のドライブシャフト等の様に、優れたねじり疲労強度が要求される機械構造用軸物部品に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 機械構造用軸物部品は、シャフト類や自動車部品等、様々なものがあるが、いずれも優れたねじり疲労強度が要求される。近年、自動車等の燃費低減や排ガス低減を目的とする軽量化の要請が高まるにつれて、上記機械構造用軸物部品にも一層の高強度化が望まれるようになってきた。しかも、機械構造用軸物部品の製造における低コスト化も併せて望まれるようになってい

2

\*が100KHz以下の高周波焼入れによって50%マルテンサイト硬さまでの硬化層深さCDと高周波焼入れ軸物部品の半径Rとの比  $(CD/R)$  が0.3~0.7となる様にしたものであり、且つ下記(1)式によって規定されるAの値が下記(2)~(4)式のいずれかを満足することを特徴とするねじり疲労強度に優れた機械構造用軸物部品。

10※平均ビッカース硬さ (HV)

Hc: 高周波焼入れ後の軸中心部の平均ビッカース硬さ (HV)

【0003】 機械構造用軸物部品の疲労強度を向上させる為の一つの手段として、高周波焼入れが知られている。高周波焼入れによれば、機械構造用軸物部品の表面硬化や圧縮残留応力の増大が図れ、しかも加工費が安く、処理時間が極めて短く、また環境にも優しいという利点を有し、且つ製品への歪の発生が少なく、綺麗な表面に仕上がることから、機械構造用軸物部品の有用な強化方法として注目されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の高周波焼入れでは、適切な材料や高周波焼入れ条件が選定されていなかったため、適切な表面硬さ、硬化層深さおよび表面圧縮残留応力が得られているとは言えず、満足のいくねじり疲労強度が得られているとはいえなかった。即ち、従来の高周波焼入れにあっては、材料が適切であっても、高周波焼入れ条件が適切でなかったり、高周波条件に制限があるのに、適切な材料を供給しなかったりして、実現可能なねじり疲労強度には限界があるという問題があった。

【0005】 本発明は、こうした状況のもとになされたものであって、その目的は、ねじり疲労強度限界を更に向上し、近年のニーズに応えることのできる機械構造用軸物部品を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成し得た本発明とは、C: 0.30~0.60%, Si: 0.05~1.0%, Mn: 0.3~2.0%, Al: 0.015~0.05%, S: 0.03%以下 (0%を含む), P: 0.015%以下 (0%を含む) を夫々含有し、残部Feおよび不可避不純物からなる鋼を素材とした機械構造用部品において、該素材を所定の形状に成形加工した後、周波数が100KHz以下の高周波焼入れによって50%マルテンサイト硬さまでの硬化層深さCDと高周波焼入れ軸物部品の半径Rとの比  $(CD/R)$  が0.3~0.7となる様にしたものであり、且つ下記(1)

式によって規定されるAの値が下記(2)～(4)式のいずれかを満足する点に要旨を有するものである。 \*

$$A = \{ [\gamma f \times (CD/R)] / (Hf - Hc) \} \times 1000 \quad \cdots (1)$$

但し、 $\gamma f$ ：高周波焼入れ後の表面から1mmまでのオーステナイト結晶粒径(半径： $\mu m$ )の平均

$Hf$ ：高周波焼入れままの $(CD/R) = 0.1$ までの※

$$C : 0.3 \sim 0.4\% \text{ 未満においては、} 1.9 \leq A \leq 16.6 \quad \cdots (2)$$

$$C : 0.4 \sim 0.5\% \text{ 未満においては、} 1.8 \leq A \leq 14.3 \quad \cdots (3)$$

$$C : 0.5 \sim 0.6\% \text{ 未満においては、} 1.7 \leq A \leq 13.6 \quad \cdots (4)$$

【0008】また本発明の機械構造用部品には、必要によって、Ni, Cu, Cr, Mo, V, Ti, Nb, Ca, Pb, Te, B, N等を含有したものであっても良い。更に、酸化物系介在物を低減して疲労強度を更に向上させるという観点からして、酸素(O)の含有量は0.0030%以下に抑制することが好ましい。

【0009】

【作用】上記課題を解決するために、本発明者らは、ねじり疲労強度に及ぼす化学組成、高周波焼入れ深さ、高周波焼入れ組織の炭化物の析出等について様々な角度から検討した。その結果、上記の構成を採用すれば、従来の方法では得られなかった様な、材料に適合した適切な結晶粒や高い残留応力を得ることができ、それによってねじり疲労強度が著しく改善されたる機械構造用軸物部品が得られることを見出し、本発明を完成した。まず本発明で前提となる素材の化学成分の限定理由は、下記の通りである。

【0010】C：0.30～0.60%

Cは、高周波焼入れ後の部品の疲労強度を高めるのに必要な元素であり、その含有量が0.30%未満では適切な硬化層深さや表面硬さが得られない。しかしながら、Cの含有量が過剰になると切削加工性が劣化し、且つ高周波焼入れ時の焼割れが生じるので、0.60%以下とすべきである。尚Cの含有量の好ましい範囲は、0.40～0.50%程度であり、この範囲では適切な表面硬さが得られ、且つ切削加工性等の劣化も発生することがない。

【0011】Si：0.05～1.0%

Siは、炭化物形成元素の少ない材料では、高温硬さを上昇させる効果があり、高温雰囲気で使用される部材に有効であり、1.0%程度の添加を必要とする。しかしながら、炭化物の多い材料では、Siが炭化物の析出を遅らせる作用があつて添加量を抑える必要があるので、その下限を0.05%と幅広く設定した。尚Si含有量の好ましい範囲は、0.4%以下であり、この範囲では冷間鍛造性の劣化が大きくなることを防止することができる。

【0012】Mn：0.3～2.0%

軸物部品は、高周波焼入れの安定性を確保するために焼入れ性を高める必要があるが、Mnはこの焼入れ性を高めるのに有効な元素である。その為には、Mnの含有量

\*【0007】

※平均ビッカース硬さ(HV)

Hc：高周波焼入れ後の軸中心部の平均ビッカース硬さ

(HV)

は0.3%以上とする必要がある。またMnは、焼入れ部以外の硬さを上昇させるので、全体の強度向上を図る為にその含有量は、2.0%までとした。尚Mn含有量の好ましい範囲は、0.5～1.0%程度であり、この範囲では高周波焼入れ性を確保し、且つ鍛造性の劣化を防止することができる。

【0013】Al：0.010～0.05%

Alは、脱酸効果とNとの化合物AlNを生成して高周波焼入れ時の結晶粒の粗大化を防止する効果がある。その効果は、0.010%未満では十分でなく、0.05%を超えて含有してもその効果は飽和すると共に、酸化物系介在物を生成し易くなる。尚Al含有量の好ましい範囲は、0.020～0.030%程度である。

【0014】S：0.03%以下(0%を含む)

Sの含有量が0.03%を超えると、横目の強度低下を招くので、その含有量は0.03%以下とする必要がある。

【0015】P：0.015%以下(0%を含む)

Pの含有量が0.015%を超えると、粒界強度の低下を招き、脆化するので、その含有量は0.015%以下とする必要がある。

【0016】本発明の機械構造用軸物部品は、以上の元素を基本成分とし、残部がFeおよび不可避不純物からなるものであるが、必要によって、Ni, Cu, Cr, Mo, V, Ti, Nb, Ca, Pb, Te, B, N等を含有したものであっても良い。これらの元素を添加するときの、添加理由は下記の通りである。

【0017】Ni：2.0%以下

Niは、焼入れ性を向上させ、また切欠靱性を向上させる効果がある。しかしながら、その含有量が過剰になると焼割れの可能性があるので、2.0%を上限とした。Ni含有量のより好ましい範囲は、1.0%以下であり、この範囲では加工性の劣化を防止することができる。

【0018】Cu：0.03～0.3%

Cuは、焼入れ性を向上させると共に、耐腐食性をも向上させる元素である。この効果を発揮させるためには、0.03%以上添加する必要があるが、過剰に添加すると疲労強度に影響があるので、0.3%以下とすべきである。

【0019】Cr：2.0%以下

Crは、微細炭化物を生成して、焼入れ性を向上させるのに有効な元素である。しかし、その添加量が2.0%を超えると、疲労強度向上の効果が薄れると共に、素材硬さの低下を招くので、その含有量は2.0%以下とすべきである。

【0020】Mo:2.0%以下

MoはCrと同様に炭化物を形成し、焼入れ性を向上させるのに有効な元素である。しかしながら、その添加量が2.0%を超えると、加工性が悪くなり、焼入れ性が高くなり過ぎる。

【0021】V:1.0%以下

Vは、炭化物を形成し、しかもそれを非常に安定化させるのに有効な元素である。しかしながら、過剰に添加すると、素地硬さの低下を招くので、1.0%以下とすべきである。

【0022】Ti:0.10%以下

Tiは、NやOとの親和性が強く、結晶微細化に効果があるが、過剰に添加すると、Vと同様に素地硬さの低下を招くので、0.10%以下とすべきである。

【0023】Nb:0.10%以下

Nbは、Tiと同様に結晶粒の微細化に有効な元素であるが、過飽和に添加しても効果があがらないので、0.10%以下とした。

【0024】Ca:0.010%以下、Pb:0.30%以下およびTe:0.1%以下よりなる群から選ばれた1種以上

Ca、PbおよびTeは、被削性を向上させる効果があるが、疲労強度に対してはあまり良い方向に作用しないので、その含有量はCaで0.010%以下、Pbで0.30%以下、Teで0.1%以下とすべきである。

【0025】B:0.010%以下

Bは少量で焼入れ性を向上させる元素であり、また粒界強度を上昇させる効果を有するが、含有量が多くなり過ぎるとその効果が薄れるので、0.010%以下とする必要がある。

【0026】N:0.03%以下

Nは、V、Nb、Ti等と結合して析出効果に影響を与えるが、その添加量が多くなり過ぎると、脆化するのので、その添加量は0.03%以下とした。

【0027】尚Oは鋼中の不純物の形態に大きな影響を及ぼし、特にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>等の介在物はねじり疲労限度を著しく低下させるので、酸化物系介在物は極力少なくしなければならない。こうした観点からすれば、Oの含有量は、0.0030%以下に抑制するのが好ましい。

【0028】本発明では、上記の様な化学成分組成の鋼材料を素材とし、該素材を所定の機械構造用軸物部品の形状に成形加工した後、まず周波数が100KHz以下

の高周波焼入れによって、50%マルテンサイト硬さまでの硬化層深さCDと高周波焼入れ軸物部品の半径Rとの比(CD/R)が0.3~0.7となる様にしたものである。高周波焼き入れの際の周波数を100KHz以下としたのは、この周波数範囲では、低速度域での加熱速度の調節が可能である為に、低い加熱温度で深い硬化層が得られ、結晶粒の粗大化が防止できるからである。尚周波数のより好ましい範囲は、50KHz以下である。また(CD/R)の値を0.3以上としたのは、この値が0.3未満では内部を起点として破壊が生じる為に内部の強度が影響し、疲労強度が低下するからである。一方、(CD/R)の値が0.7を超えると、表面を起点として破壊が起こるが、内部の靱性のある部分が少なくなって、特に疲労強度が低下することになる。

【0029】本発明の機械構造用部品は、上記の条件を満足する他、前記(1)式によって規定されるAの値が前記(2)~(4)式のいずれかを満足する必要があるが、この理由は下記の通りである。

【0030】上記Aの値は、結晶粒径 $\gamma_f$ 、硬化層深さ/軸半径(CD/R)比、表面硬さHfおよび中心部硬さHc等のパラメーターによって決められる値であり、適切な材料に対して適切な高周波焼入れが施されたかどうかを判断する指標となる値である。上記パラメーターのうち結晶粒径は、粗い場合には靱性の低下によって疲労強度の低下を招き、細か過ぎても結晶粒自体が介在物的な働きをして、めじり疲労強度を低下させることになる。また表面硬さHfが、高周波焼入れの不具合による不完全焼入れ層の発生による硬度低下が生じたとき、めじり疲労強度が低下する。更に、中心部の硬さHcが高過ぎても、内部靱性の低下によって、めじり疲労強度が低下する。これらの特性が、相互に疲労強度に影響を及ぼすことになる。以上の理由によって、前記A値を設定した。ここで、A値が前記(2)~(4)式で規定する範囲を外れると、めじり疲労強度が上記したいずれかの理由によって低下することになる。尚Cの含有量によって、上記A値を振り分けたのは、高速周波焼入れ後の表面硬さがCの含有量によってほぼ決定されるからである。

【0031】以下本発明を実施例によって更に詳細に説明するが、下記実施例は本発明を限定する性質のものではなく、前後記の趣旨に徴して設計変更することはいずれも技術的範囲に含まれるものである。

【0032】

【実施例】表1に示す化学成分組成の供試鋼(N<sub>0</sub>.1~29)を通常の溶製法によって、溶解、鋳造後、鍛造した。焼きならし後、切削によって図1に示すねじり試験片を作製した。

【0033】

【表1】

| 供試<br>鋼<br>No. | 化 学 成 分 ( 質 量 % ) |      |      |       |       |       |        |        |      |      |                           |
|----------------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|------|------|---------------------------|
|                | C                 | Si   | Mn   | Al    | S     | P     | O      | N      | Ni   | Cr   | その他                       |
| 1              | 0.53              | 0.23 | 0.75 | 0.030 | 0.017 | 0.010 | 0.0010 | 0.0056 | 0.01 | 0.18 | —                         |
| 2              | 0.53              | 0.24 | 0.77 | 0.024 | 0.018 | 0.010 | 0.0011 | 0.0060 | 1.00 | 0.19 | —                         |
| 3              | 0.54              | 0.23 | 0.76 | 0.027 | 0.017 | 0.009 | 0.0015 | 0.0057 | 0.01 | 0.78 | —                         |
| 4              | 0.53              | 0.26 | 0.75 | 0.027 | 0.017 | 0.012 | 0.0012 | 0.0055 | 0.01 | 0.18 | Mo:0.30                   |
| 5              | 0.53              | 0.23 | 0.75 | 0.023 | 0.019 | 0.010 | 0.0013 | 0.0056 | 0.01 | 0.18 | V:0.26                    |
| 6              | 0.53              | 0.24 | 0.76 | 0.030 | 0.017 | 0.011 | 0.0009 | 0.0051 | 0.01 | 0.17 | Cu:0.07                   |
| 7              | 0.54              | 0.23 | 0.75 | 0.028 | 0.018 | 0.012 | 0.0011 | 0.0060 | 0.01 | 0.18 | Mo:0.24,Ti:0.01,B:0.0020  |
| 8              | 0.53              | 0.22 | 0.74 | 0.025 | 0.017 | 0.012 | 0.0012 | 0.0058 | 0.01 | 0.16 | Nb:0.02,B:0.0020          |
| 9              | 0.53              | 0.24 | 0.77 | 0.024 | 0.016 | 0.010 | 0.0014 | 0.0055 | 0.01 | 0.18 | Mo:0.49,Ca:0.0030,Pb:0.04 |
| 10             | 0.53              | 0.23 | 0.75 | 0.026 | 0.015 | 0.011 | 0.0012 | 0.0057 | 0.01 | 0.19 | Mo:0.50,Te:0.030,Pb:0.04  |
| 11             | 0.53              | 0.25 | 0.78 | 0.026 | 0.017 | 0.013 | 0.0013 | 0.0060 | 0.01 | 0.18 | Mo:0.48,Pb:0.07           |
| 12             | 0.54              | 0.23 | 0.77 | 0.025 | 0.014 | 0.009 | 0.0010 | 0.0054 | 0.01 | 0.18 | Mo:0.29,V:0.30,B:0.0020   |
| 13             | 0.43              | 0.20 | 0.85 | 0.027 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 0.01 | 0.14 | —                         |
| 14             | 0.43              | 0.20 | 1.48 | 0.027 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 0.01 | 0.18 | —                         |
| 15             | 0.42              | 0.20 | 0.85 | 0.026 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 1.01 | 0.16 | —                         |
| 16             | 0.43              | 0.19 | 0.85 | 0.028 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 0.01 | 0.18 | Mo:0.30                   |
| 17             | 0.43              | 0.20 | 0.87 | 0.027 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 0.01 | 0.17 | Ti:0.01,B:0.0017          |
| 18             | 0.44              | 0.20 | 0.87 | 0.026 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 0.01 | 0.15 | Mo:0.29,Ti:0.01,B:0.0017  |
| 19             | 0.34              | 0.19 | 0.91 | 0.030 | 0.008 | 0.011 | 0.0010 | 0.0051 | 0.01 | 0.13 | Ti:0.01,B:0.0015          |
| 20             | 0.34              | 0.19 | 1.51 | 0.027 | 0.011 | 0.008 | 0.0013 | 0.0054 | 0.01 | 0.15 | —                         |
| 21             | 0.33              | 0.20 | 0.89 | 0.029 | 0.009 | 0.010 | 0.0014 | 0.0057 | 0.01 | 0.15 | Mo:0.50                   |
| 22             | 0.34              | 0.19 | 0.91 | 0.030 | 0.013 | 0.009 | 0.0010 | 0.0051 | 0.01 | 0.16 | Mo:0.30,Ti:0.01,B:0.0015  |
| 23             | 0.33              | 0.21 | 1.49 | 0.028 | 0.011 | 0.010 | 0.0010 | 0.0051 | 0.01 | 0.17 | Ti:0.01,B:0.0015          |
| 24             | 0.33              | 0.20 | 0.89 | 0.027 | 0.010 | 0.011 | 0.0014 | 0.0057 | 0.01 | 0.50 | Mo:0.50                   |
| 25             | 0.53              | 0.23 | 0.20 | 0.030 | 0.017 | 0.010 | 0.0010 | 0.0058 | 0.01 | 0.18 | —                         |
| 26             | 0.43              | 0.20 | 0.20 | 0.027 | 0.014 | 0.012 | 0.0014 | 0.0053 | 0.01 | 0.14 | —                         |
| 27             | 0.34              | 0.19 | 0.19 | 0.027 | 0.011 | 0.008 | 0.0013 | 0.0054 | 0.01 | 0.15 | —                         |
| 28             | 0.54              | 0.21 | 0.78 | 0.024 | 0.015 | 0.009 | 0.0010 | 0.0055 | —    | 0.15 | —                         |
| 29             | 0.53              | 0.23 | 0.77 | 0.028 | 0.013 | 0.010 | 0.0012 | 0.0056 | —    | —    | —                         |

【0034】上記各ねじり試験片について、下記の各条件で高周波焼入れ、焼戻しを行ない、夫々の材質特性を調査した。その結果を、A値と共に表2および表3に示す。尚表2、3において、各比較例は、同じ装置を用いて処理したものであるが、(CD/R)を変化させることによって、A値が本発明で規定する範囲を外れるものである。

【0035】(高周波焼入れ、焼戻し条件)

(I) 出力: 80 KW, 周波数: 20 KHz, 電圧: 1 30

4 KV, 一次電流: 3. 2 A, 二次電流: 2. 8 Aの条件で加熱した後、水冷して高周波焼入れを行なった。また焼戻しは、180℃の温度で60min行なった。

(II) 出力: 150 KW, 周波数: 10 KHz, 電圧: 500 V, 一次電流: 290 A, 二次電流: 220 Aの条件で加熱した後、水冷して高周波焼入れを行なった。また焼戻しは、180℃の温度で60min行なった。

【0036】

【表2】

| No. | 供試鋼No. | 0.05mm表面<br>硬さ (HV) | 表面 $\gamma$ 結晶粒徑<br>(半径: $\mu\text{m}$ ) | 芯部硬さ<br>(HV) | CD/R | A値   | 備考  |
|-----|--------|---------------------|--|--------------|------|------|-----|
| 1   | 1      | 818                 | 7.8                                      | 241          | 0.46 | 6.2  | 実施例 |
| 2   | 1      | 792                 | 2.9                                      | 221          | 0.29 | 1.5  | 比較例 |
| 3   | 2      | 827                 | 9.5                                      | 224          | 0.48 | 7.6  | 実施例 |
| 4   | 2      | 822                 | 12.5                                     | 229          | 0.71 | 15.0 | 比較例 |
| 5   | 3      | 820                 | 6.5                                      | 246          | 0.54 | 6.1  | 実施例 |
| 6   | 3      | 815                 | 2.3                                      | 235          | 0.38 | 1.5  | 比較例 |
| 7   | 4      | 835                 | 9.5                                      | 248          | 0.51 | 8.3  | 実施例 |
| 8   | 4      | 830                 | 13.5                                     | 250          | 0.60 | 14.0 | 比較例 |
| 9   | 5      | 816                 | 7.2                                      | 228          | 0.45 | 5.5  | 実施例 |
| 10  | 5      | 789                 | 2.8                                      | 240          | 0.32 | 1.6  | 比較例 |
| 11  | 6      | 815                 | 6.5                                      | 224          | 0.44 | 4.8  | 実施例 |
| 12  | 6      | 778                 | 2.4                                      | 230          | 0.28 | 1.2  | 比較例 |
| 13  | 7      | 818                 | 11.0                                     | 225          | 0.48 | 8.9  | 実施例 |
| 14  | 7      | 820                 | 13.9                                     | 223          | 0.59 | 13.7 | 比較例 |
| 15  | 8      | 827                 | 9.8                                      | 231          | 0.56 | 9.2  | 実施例 |
| 16  | 8      | 822                 | 12.5                                     | 229          | 0.72 | 15.2 | 比較例 |
| 17  | 9      | 820                 | 6.7                                      | 234          | 0.43 | 4.9  | 実施例 |
| 18  | 9      | 779                 | 3.1                                      | 245          | 0.27 | 1.6  | 比較例 |
| 19  | 10     | 835                 | 10.4                                     | 228          | 0.42 | 7.2  | 実施例 |
| 20  | 10     | 830                 | 3.3                                      | 229          | 0.29 | 1.6  | 比較例 |
| 21  | 11     | 816                 | 7.1                                      | 226          | 0.43 | 5.2  | 実施例 |
| 22  | 11     | 819                 | 3.3                                      | 228          | 0.26 | 1.5  | 比較例 |
| 23  | 12     | 815                 | 10.1                                     | 225          | 0.49 | 8.4  | 実施例 |
| 24  | 12     | 816                 | 12.3                                     | 223          | 0.68 | 14.1 | 比較例 |
| 25  | 13     | 720                 | 8.9                                      | 205          | 0.44 | 7.6  | 実施例 |
| 26  | 13     | 698                 | 2.6                                      | 204          | 0.28 | 1.5  | 比較例 |

【0037】

【表3】

| No. | 供試鋼材 | 0.05mm表面<br>硬さ(HV) | 表面γ結晶粒径<br>(半径: $\mu m$ ) | 芯部硬さ<br>(HV) | CD/R | A値   | 備考  |
|-----|------|--------------------|---------------------------|--------------|------|------|-----|
| 27  | 14   | 708                | 11.8                      | 198          | 0.50 | 11.6 | 実施例 |
| 28  | 14   | 720                | 12.9                      | 207          | 0.58 | 14.4 | 比較例 |
| 29  | 15   | 715                | 9.6                       | 198          | 0.52 | 9.7  | 実施例 |
| 30  | 15   | 717                | 10.5                      | 201          | 0.71 | 14.4 | 比較例 |
| 31  | 16   | 722                | 8.2                       | 211          | 0.48 | 7.7  | 実施例 |
| 32  | 16   | 725                | 12.6                      | 207          | 0.60 | 14.6 | 比較例 |
| 33  | 17   | 716                | 10.4                      | 210          | 0.43 | 8.8  | 実施例 |
| 34  | 17   | 711                | 13.0                      | 206          | 0.57 | 14.7 | 比較例 |
| 35  | 18   | 719                | 8.5                       | 198          | 0.43 | 7.0  | 実施例 |
| 36  | 18   | 712                | 12.6                      | 209          | 0.65 | 16.3 | 比較例 |
| 37  | 19   | 620                | 6.3                       | 172          | 0.35 | 4.9  | 実施例 |
| 38  | 19   | 619                | 12.4                      | 182          | 0.60 | 17.0 | 比較例 |
| 39  | 20   | 623                | 8.6                       | 163          | 0.45 | 8.4  | 実施例 |
| 40  | 20   | 629                | 11.2                      | 165          | 0.72 | 17.4 | 比較例 |
| 41  | 21   | 631                | 6.5                       | 173          | 0.48 | 6.8  | 実施例 |
| 42  | 21   | 625                | 11.5                      | 172          | 0.73 | 18.5 | 比較例 |
| 43  | 22   | 618                | 6.7                       | 164          | 0.45 | 6.6  | 実施例 |
| 44  | 22   | 611                | 2.4                       | 172          | 0.32 | 1.7  | 比較例 |
| 45  | 23   | 622                | 12.0                      | 165          | 0.40 | 10.5 | 実施例 |
| 46  | 23   | 618                | 12.8                      | 163          | 0.60 | 16.9 | 比較例 |
| 47  | 24   | 635                | 10.5                      | 172          | 0.45 | 10.2 | 実施例 |
| 48  | 24   | 630                | 12.1                      | 169          | 0.69 | 18.1 | 比較例 |
| 49  | 25   | 773                | 2.4                       | 245          | 0.29 | 1.3  | 比較例 |
| 50  | 26   | 672                | 2.5                       | 209          | 0.27 | 1.5  | 比較例 |
| 51  | 27   | 598                | 2.6                       | 162          | 0.25 | 1.5  | 比較例 |
| 52  | 28   | 795                | 11.0                      | 220          | 0.46 | 8.8  | 実施例 |
| 53  | 29   | 810                | 9.8                       | 217          | 0.55 | 9.1  | 実施例 |

【0038】その後、ねじり疲労試験を行なった。このとき、負荷トルク1764N・mおよび1568N・mの2水準で、周波数1.67Hz、応力比-1の両振りねじり疲労試験を行なった。その結果を、表4および表5に示す。

【0039】  
【表4】



13

14

| No. | 供試<br>鋼No. | 負荷トルク1764N・m<br>のときの繰返し数 | 負荷トルク1568N・m<br>のときの繰返し数 | 備考  |
|-----|------------|--------------------------|--------------------------|-----|
| 1   | 1          | $2.8 \times 10^4$        | $1.2 \times 10^5$        | 実施例 |
| 2   | 1          | $1.4 \times 10^4$        | $9.3 \times 10^4$        | 比較例 |
| 3   | 2          | $4.0 \times 10^4$        | $1.5 \times 10^5$        | 実施例 |
| 4   | 2          | $2.6 \times 10^4$        | $1.1 \times 10^5$        | 比較例 |
| 5   | 3          | $4.5 \times 10^4$        | $1.6 \times 10^5$        | 実施例 |
| 6   | 3          | $2.8 \times 10^4$        | $9.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 7   | 4          | $5.6 \times 10^4$        | $2.1 \times 10^5$        | 実施例 |
| 8   | 4          | $3.2 \times 10^4$        | $1.2 \times 10^5$        | 比較例 |
| 9   | 5          | $2.6 \times 10^4$        | $1.1 \times 10^5$        | 実施例 |
| 10  | 5          | $1.3 \times 10^4$        | $8.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 11  | 6          | $2.7 \times 10^4$        | $1.2 \times 10^5$        | 実施例 |
| 12  | 6          | $1.1 \times 10^4$        | $8.9 \times 10^4$        | 比較例 |
| 13  | 7          | $3.8 \times 10^4$        | $1.4 \times 10^5$        | 実施例 |
| 14  | 7          | $2.1 \times 10^4$        | $9.9 \times 10^4$        | 比較例 |
| 15  | 8          | $3.2 \times 10^4$        | $1.3 \times 10^5$        | 実施例 |
| 16  | 8          | $1.9 \times 10^4$        | $9.0 \times 10^4$        | 比較例 |
| 17  | 9          | $2.2 \times 10^4$        | $1.0 \times 10^5$        | 実施例 |
| 18  | 9          | $1.1 \times 10^4$        | $8.7 \times 10^4$        | 比較例 |
| 19  | 10         | $2.5 \times 10^4$        | $1.2 \times 10^5$        | 実施例 |
| 20  | 10         | $1.8 \times 10^4$        | $9.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 21  | 11         | $2.3 \times 10^4$        | $1.3 \times 10^5$        | 実施例 |
| 22  | 11         | $1.5 \times 10^4$        | $9.6 \times 10^4$        | 比較例 |
| 23  | 12         | $5.8 \times 10^4$        | $2.1 \times 10^5$        | 実施例 |
| 24  | 12         | $3.2 \times 10^4$        | $1.5 \times 10^5$        | 比較例 |
| 25  | 13         | $1.8 \times 10^4$        | $1.0 \times 10^5$        | 実施例 |
| 26  | 13         | $1.1 \times 10^4$        | $7.0 \times 10^4$        | 比較例 |

[0040]

[表5]

| No. | 供試<br>鋼No. | 負荷トルク1764N・m<br>のときの繰返し数 | 負荷トルク1568N・m<br>のときの繰返し数 | 備考  |
|-----|------------|--------------------------|--------------------------|-----|
| 27  | 14         | $2.0 \times 10^4$        | $1.1 \times 10^5$        | 実施例 |
| 28  | 14         | $1.4 \times 10^4$        | $8.9 \times 10^4$        | 比較例 |
| 29  | 15         | $2.1 \times 10^4$        | $1.1 \times 10^5$        | 実施例 |
| 30  | 15         | $1.5 \times 10^4$        | $9.2 \times 10^4$        | 比較例 |
| 31  | 16         | $3.0 \times 10^4$        | $1.3 \times 10^5$        | 実施例 |
| 32  | 16         | $2.2 \times 10^4$        | $9.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 33  | 17         | $1.5 \times 10^4$        | $9.8 \times 10^4$        | 実施例 |
| 34  | 17         | $9.8 \times 10^3$        | $7.6 \times 10^4$        | 比較例 |
| 35  | 18         | $3.8 \times 10^4$        | $1.2 \times 10^5$        | 実施例 |
| 36  | 18         | $2.7 \times 10^4$        | $9.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 37  | 19         | $1.1 \times 10^4$        | $8.0 \times 10^4$        | 実施例 |
| 38  | 19         | $9.5 \times 10^3$        | $6.7 \times 10^4$        | 比較例 |
| 39  | 20         | $1.2 \times 10^4$        | $8.1 \times 10^4$        | 実施例 |
| 40  | 20         | $8.3 \times 10^3$        | $6.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 41  | 21         | $2.1 \times 10^4$        | $9.8 \times 10^4$        | 実施例 |
| 42  | 21         | $1.3 \times 10^4$        | $7.6 \times 10^4$        | 比較例 |
| 43  | 22         | $2.2 \times 10^4$        | $1.0 \times 10^5$        | 実施例 |
| 44  | 22         | $1.5 \times 10^4$        | $8.0 \times 10^4$        | 比較例 |
| 45  | 23         | $1.9 \times 10^4$        | $9.5 \times 10^4$        | 実施例 |
| 46  | 23         | $1.1 \times 10^4$        | $8.3 \times 10^4$        | 比較例 |
| 47  | 24         | $2.3 \times 10^4$        | $1.1 \times 10^5$        | 実施例 |
| 48  | 24         | $1.1 \times 10^4$        | $7.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 49  | 25         | $2.3 \times 10^4$        | $1.0 \times 10^5$        | 比較例 |
| 50  | 26         | $1.8 \times 10^4$        | $8.7 \times 10^4$        | 比較例 |
| 51  | 27         | $9.6 \times 10^3$        | $6.8 \times 10^4$        | 比較例 |
| 52  | 28         | $2.7 \times 10^4$        | $1.3 \times 10^5$        | 実施例 |
| 53  | 29         | $2.5 \times 10^4$        | $1.0 \times 10^5$        | 実施例 |

【0041】表4、5の結果から明らかな様に、A値が本発明で規定する範囲内にあるものは、それを外れているものよりも優れた疲労強度を示していることが分かる。また前記表2、3と、表4、5とを比較しても明らかな様に、CD/Rが0.45～0.55の範囲にある方がより優れた疲労強度を示していることが分かる。

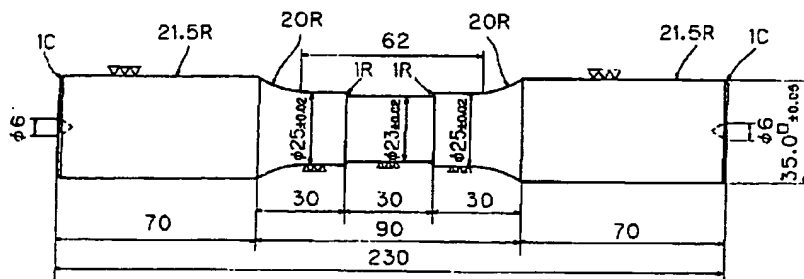
【0042】

【発明の効果】本発明は以上の様に構成されており、ねじり疲労特性を格段に向上した機械構造用軸物部品が得られ、この部品はシャフト類の様に高い疲労強度が要求される箇所に好適に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】ねじり試験片の形状を示す説明図である。

【図1】



単位:mm

フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>

C 2 2 C 38/50

38/60

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

\_\_\_\_\_